Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXXIII, 1981 г.

УДК 624.131.1

О ПРИНЦИПАХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМАТИЗАЦИИ

В.А.МИРОНЕНКО

Инженерная геология, будучи наукой геологического цикла, немыслима вместе с тем без методов инженерного анализа. Это тривиальное положение, которое вряд ли будет кем-то оспариваться на словах, тем не менее опровергается на деле сплошь и рядом. Практический опыт приносит тому примеры слишком часто: проведение изысканий без должной увязки с характером инженерного сооружения; проектирование последнего преимущественно на базе общих качественных умозаключений, бездоказательность которых компенсируется ненадежными ссылками на аналогию или скрывается за цифрами коэффициента запаса; накопление в больших объемах материалов инженерно-геологических наблюдений, практически не используемых для оценки качества или ревизии проекта; наконец, наличие широкого круга инженер-геологов, имеющих весьма слабые представления о механике горных пород, ее методах и возможностях. В результате налицо серьезный разрыв между тем, что инженерная геология должна, и тем, что она может.

Если оставить в стороне важнейший вопрос о компетенции специалистов, то причины этого разрыва следует, по нашему мнению, искать в сфере инженерно-геологической схематизации (ИГС). Последняя понимается [2, 3] как совокупность операций, с помощью которых реальная инженерно-геологическая обстановка на конкретном объекте упрощается до уровня некоторой расчетной модели; при этом опускаются малозначащие детали, но сохраняются принципиальные черты изучаемого процесса, определяющие условия функционирования инженерного объекта. Надежная схематизация подразумевает эффективное использование накопленной инженерно-геологической информации; в частности, она обеспечивает стыковку между общим инженерно-геологическим анализом, проводимом на качественном уровне, и математической моделью процесса. Связывая геологическую основу с ее механическим описанием, ИГС является важнейшим звеном инженерно-геологических прогнозов, во многом предопределяющим их точность и надежность.

Качество схематизации зависит, в основном, от двух факторов: полноты и степени достоверности исходной информации и квалификации специалистов,

проводящих схематизацию. Важность второго фактора очевидна, но неподготовленность специалистов к решению задач ИГС носит массовый характер; это объясняется, в первую очередь, именно положением схематизации „на стыке геологического и механического".

На практике нередки случаи, когда роль инженер-геолога искусственно ограничивается накоплением и качественным анализом информации, в то время как количественная интерпретация поручается некоему „специалисту по расчетам"; последний, в свою очередь, вынужден использовать предложенные ему „со стороны" исходные данные, часто не имея возможности или не умея оценить их достоверность, переосмыслить их в соответствии с требованиями расчетной схемы. Естественно, все это отражается на качестве не только прогнозных расчетов, но и изысканий (хотя последнее и не столь очевидно).

Таким образом многие вопросы ИГС остаются вне рамок сколь-нибудь внимательного анализа или вообще молчаливо упускаются из рассмотрения. В результате схематизация проводится, преимущественно, на уровне волевых решений, спорадически подкрепленных некоторыми интуитивными представлениями, ссылками на аналогию и статистикой. Здесь необходимо отметить следующее:

1) интуитивные оценки при инженерно-геологической схематизации полезны лишь в той мере, в какой они отражают накопленный опыт изучения условий функционирования систем вида „инженерное сооружение - комплекс горных пород";

2) аналогия при инженерно-геологической схематизации обычно должна обосновываться не только на качественном, но и на количественном уровне, что практически исключается при упомянутом выше подходе;

3) стандартный статистический анализ в его модификациях, характерных для массовых инженерно-геологических работ, часто бесполезен, а иногда даже приводит к отрицательным последствиям, так как не учитывает физико-механической природы отдельных показателей, характера возможных функциональных связей между ними, чувствительности к ним расчетного алгоритма и т.д.

В целом недостатки рассмотренного подхода становятся очевидными для все более широкого круга специалистов, и растет понимание того, что необходимым критерием компетенции инженер-геолога должна, в частности, служить его подготовка в области механики горных пород. В этом можно усматривать субъективные предпосылки и для улучшения качества схематизации, хотя бы за счет более тесной внутренней связи между отдельными этапами инженерно-геологических работ, за счет лучшего взаимопонимания специалистов, занятых на различных стадиях инженерно-геологического изучения объекта.

Не менее важно, что более глубокое понимание инженер-геологами методов механики горных пород создает объективную основу для практической реализации эффективных принципов ИГС, предопределяющих и методы схематизации, и ее надежность, и связь ее с решением другой важной проблемы - обеспечением полноты и качества исходной инженерно-геологической информации: речь идет о принципах непрерывности, адаптации и обратной связи, которые частично уже нашли свое отражение в литературе (например [7]).

Принцип непрерывности, наиболее очевидный, предполагает последовательное проведение схематизации на всех стадиях освоения объекта на основе преемственности от первых до последних этапов изысканий, далее к проекту и, наконец, к инженерно-геологическим наблюдениям при строительстве и эксплуатации инженерного сооружения (ИГН). В соответствии с этим принципом схематизация рассматривается как непрерывный многоэтапный процесс построения инженерно-геологической модели объекта, уровень точности и надежности которой возрастает от этапа к этапу. Необходимость принципа непрерывности не нуждается в аргументах: она прямо вытекает из принятой на практике последовательности инженерно-геологических работ (в частности, изысканий) и стадийности накопления информации; здесь уместно, скорее, отметить те сложности получения и интерпретации информации, которые делают непрерывный подход в ИГС единственно эффективным.

Общеизвестно, сколь ограничены возможности инженерно-геологических изысканий с точки зрения оценки исходных параметров прочности и деформируемости горных пород. Из-за решающего влияния масштабных эффектов, обусловленных механической неоднородностью и анизотропией пород, стандартные полевые и тем более лабораторные методы определения этих параметров дают во многих случаях недостоверные результаты. Достаточно сказать, что упомянутые методы часто не удовлетворяют даже необходимому требованию сплошности среды: объем области влияния эксперимента оказывается меньше минимального репрезентативного объема.

Естественно, что использование в ИГС полученных так показателей может привести лишь к неверной расчетной модели объекта. Наиболее очевидно это для комплексов трещиноватых пород [4]: здесь из всех механических показателей, определяемых мелкомасштабными (в частности, лабораторными) экспериментами, для схематизации может представлять ценность, пожалуй, лишь угол внутреннего трения. Конечно, подобная ситуация во многом является следствием преходящих недостатков применяемых методов изысканий, делающих излишне большой упор на мелкомасштабные эксперименты в ущерб крупномасштабным, более дорогим, но подчас единственно информативным. В этой связи полезно еще раз подчеркнуть те возможности для увеличения масштаба опробования, которые возникают при использовании подземных вод как силового фактора или индикатора напряженно-деформированного состояния пород [3]. Упомянем здесь для примера определение параметров сжимаемости пород опытными откачками, проводимыми параллельно с наблюдениями за деформациями оседания по глубинным реперам и датчикам порового давления; определение напряжений in situ по гидроразрыву пласта; использование данных опытных нагнетаний для предварительной схематизации комплекса трещиноватых пород по степени изменчивости его механических свойств.

Понятно вместе с тем, что технико-экономические возможности увеличения масштаба экспериментов ограничены и что в довольно широком круге условий инженерно-геологические изыскания практически неспособны выявить параметры прочности и деформируемости, необходимые для построения достаточно надежной расчетной модели объекта.

Сказанное относится, в первую очередь, к объектам, функционирование которых определяется наличием „слабого звена" - крупной тектонической трещины или ослабленного контакта в слоистой толще: известно, например, что стандартные испытания пород пробными нагрузками часто не выявляют роли слабого прослоя, расположенного в зоне опробования. Сюда же следует отнести многие из нелинейных задач, в которых параметры прочности и деформируемости являются функциями напряженно-деформированного состояния пород, обусловленного к тому же трудно прогнозируемыми факторами техногенного характера. Например, проектирование устойчивых отвалов песчано-глинистых пород требует предварительного выявления зависимости сопротивления сдвигу от плотности и влажности; последняя, однако, определяется скоростью рассеивания избыточного порового давления; прогноз которой в условиях отвальных масс, характеризующихся частой изменчивостью и неопределенностью состава пород, оказывается практически невозможным.

В подобных условиях схематизация результатов изысканий на первых этапах должна быть направлена на обоснование самого факта существования неизученных параметров и на их выявление, на доказательство их важности для конечной расчетной модели изучаемого объекта. На базе анализа фактического материала схематизация должна констатировать принципиальную невозможность оценки этих параметров применяемыми методами, вовремя ограничить наращивание объемов соответствующих (с этой точки зрения - бесполезных) видов изысканий и дать доказательную основу для составления программы последующего изучения упомянутых параметров путем более крупномасштабных экспериментов или (что чаще) посредством ИГН.

Роль наблюдений в обеспечении непрерывности, преемственности схематизации трудно переоценить. Прежде всего в их результатах обычно исключается или сводится к минимуму влияние масштабного фактора. Во-вторых, значения наблюдаемых напряжений и деформаций, как правило, имеют один порядок с ожидаемыми при эксплуатации сооружения, что позволяет избежать серьезных погрешностей прогноза, связанных с недостаточным учетом нелинейности деформационных процессов. И, наконец, в результатах наблюдений находит свое отражение влияние техногенных факторов, в том числе и тех из них, которые практически не могут быть учтены по результатам предварительных изысканий.

Мощным методом схематизации, базирующимся на результатах наблюдений, является решение обратных задач механики, направленное на определение и корректировку исходных параметров прочности и деформируемости пород. Характерным примером является определение параметров сопротивления сдвигу по результатам наблюдений на оползневых участках, причем, при соответствующей постановке наблюдений, в этих параметрах может находить свое отражение длительная прочность массива по поверхностям ослабления [8].

Значение ИГН не исчерпывается, однако, интересами конкретного объекта, на котором они ведутся: целенаправленная постановка наблюдений превращает их в главного „поставщика" уникальной инженерно-геологической информации, имеющей общетеоретическое и общеметодическое значение. Известно, например, что попытки проектирования откосов бортов карьеров, ис-

ходя из параметров ползучести пород, наталкиваются на отсутствие убедительных данных о значениях предельных деформаций относительного сдвига. Накопление таких данных для различных типов пород возможно лишь в результате организации наблюдений по специальной программе, охватывающей основные районы проведения открытых горных пород. В качестве примера сошлемся на работу [II], где приводятся весьма интересные сведения о корреляционной связи между протяженностью поверхности ослабления и временем проявления характерных признаков, предшествующих разрывной деформации сдвига по этой поверхности.

В непрерывности схематизации заложены предпосылки для реализации следующих двух принципов.

Принцип адаптации предполагает тесную взаимосвязь схематизации с ростом объема и качества инженерно-геологической информации, причем важнейшим в таком определении является именно взаимный характер этой связи. С одной стороны, в процессе непрерывной схематизации проводится постоянное обновление и перестраивание расчетной модели объекта в соответствии с новой информацией, поступающей на каждой стадии изысканий и наблюдений. С другой стороны, схематизация управляет процессом наращивания информации при инженерно-геологических изысканиях и наблюдениях, которые, в свою очередь, приспосабливаются к требованиям модели, „самообучаются" через посредство модели; короче говоря, модель помогает получить новую информацию. Уровень такой взаимной адаптации постепенно повышается по мере проведения изысканий и наблюдений.

Так, на первых этапах изысканий схематизация обычно позволяет включить изучаемый объект в некоторые классификационные рамки и наметить, исходя из соответствующих инструктивных и методических документов, требуемый состав и объемы изысканий для объектов данной (классификационной) категории.

На следующем уровне адаптации первые варианты расчетной модели объекта используются уже для уточнения целесообразных участков проведения буровых и опытных работ инженерно-геологической направленности, для корректировки и детализации методики соответствующих экспериментов. Значение принципа адаптации для придания изысканиям максимальной целенаправленности достаточно очевидно.

Простейшие примеры связаны с наличием „слабого звена": выявление на первых этапах схематизации ослабленного контакта (при работе сооружения на сдвиг) или сильно сжимаемого слоя (при работе на сжатие) сразу дает толчок к локализации последующих экспериментов на соответствующих участках. В результате новая расчетная модель имеет дело уже с резко неравномерным распределением информации.

Другой пример связан с оценкой процессов консолидации глинистых пород: если первые лабораторные испытания выявляют их ярко выраженные реологические свойства, большую роль вторичной консолидации, то внимание к оценкам избыточного порового давления в полевых условиях может быть ослаблено, и наоборот. Конечно, подобное оперативное планирование стратегии изысканий требует от специалиста достаточно ясного понимания физико-

механических основ предполагаемых деформационных процессов: проводя схематизацию, он должен ориентироваться на определенную теоретическую модель и на возможности ее обеспечения исходными данными.

Для того чтобы продемонстрировать значение адаптационного подхода при обосновании методики изысканий, сошлемся на работу [10].

При изысканиях на участке строительства высотного здания, сложенном глинистыми породами, исходные параметры сжимаемости расчетной модели были определены методом пробных нагрузок. Расчет ожидаемой осадки по этим параметрам дал значения, примерно в два раза превышающие допустимые нормативы. Однако эксперты, проанализировав данные экспериментов и учитывая опыт возведения зданий на аналогичных породах, высказали сомнение в справедливости этого результата: известно, что в слабых глинистых породах испытания со штампами часто резко завышают сжимаемость.

В качестве альтернативного - крупномасштабного - эксперимента по оценке сжимаемости было предложено провести откачку воды из нижележащего (на глубине около 30 м) прослоя песков. Снижение напоров в песках на 20 м (т.е. приложение к глинам конечной дополнительной нагрузки в 0,2 МПа), на площади радиусом около 20 м, было проведено четырьмя скважинами в течение двух месяцев. Параллельно велись наблюдения за осадкой глинистой толщи по поверхностным и глубинным реперам. Полученные значения параметров сжимаемости оказались в 3-4 раза меньше величин, найденных стандартными экспериментами. Тем самым была доказана допустимость строительства здания без проведения специальных мероприятий в породах основания.

Итак, промежуточная расчетная модель оказалась полезной для выявления аналогий с другими объектами, критического анализа методики проведенных экспериментов и обоснования новой методики. Заметим кстати, что адаптация расчетной модели проводится наиболее эффективно при привлечении к анализу различного рода аналогий, базирующихся прежде всего на личном опыте специалиста, на его умении комплексно оценить и увязать в единой модели разнородную информацию. В этом, последнем, плане наиболее яркие примеры дают различные задачи „на стыке" инженерной геологии и гидрогеологии, подробно рассмотренные нами ранее [3].

Еще один пример. В работе [9] анализируется опыт изучения проницаемости ядра земляной плотины, сложенного плотными глинами. Оценивая результаты проведенных с этой целью опытных нагнетаний, авторы отмечают, что полученные значения коэффициента фильтрации на два-три порядка превышали действительные (последние определены последующими наблюдениями на плотине), что объясняется гидроразрывом глин при нагнетаниях. В данном случае изыскатели оказались не на высоте и принцип адаптации не был реализован. Между тем, априорно представляя возможность гидроразрыва, можно было уже по первым экспериментам выявить корреляционную связь между коэффициентом фильтрации и давлением нагнетания, что заставило бы вовремя пересмотреть методику.

На следующем уровне адаптации проводится дополнительное количественное обоснование требуемого объема изысканий. Для этого могут использоваться, в частности, графики зависимости среднего квадратичного отклонения

того или иного изучаемого параметра от объема соответствующих изыскательских работ. В последнее время в тех же целях широко используется показатель выборочной энтропии. Например, если значение выборочной энтропии для опытных величин коэффициента сжимаемости перестает расти после проведения некоторого числа экспериментов, то отсюда следует, что дальнейшее проведение экспериментов данного типа лишено смысла (при этом, однако, не исключается целесообразность проведения более крупномасштабных опытов). В целом же следует еще раз подчеркнуть необходимость осторожного использования статистики при схематизации: из-за излишне прямолинейного понимания возможностей статистических методов, они иногда приносят в инженерной геологии больше вреда, чем пользы.

Наконец, высший уровень адаптации отвечает проектированию и проведению ИГИ в соответствии с требованиями расчетной модели, полученной на последних этапах изысканий. В таком варианте реализация принципа адаптации особенно тесно связана и с необходимостью соблюдения принципа обратной связи, хотя и во многих рассмотренных примерах эта связь также молчаливо предполагалась.

Принцип обратной связи определяет важнейшую позицию схематизации как связующего звена между инженерно-геологическими изысканиями и наблюдениями, с одной стороны, и характером работы инженерного сооружения - с другой. Из него следует, что эффективность инженерно-геологических работ решающим образом зависит от степени учета - при их постановке и проведении - требований, вытекающих из предполагаемого напряженно-деформированного состояния горных пород в процессе возведения и эксплуатации инженерного сооружения.

Так, если проходка глубокого шахтного ствола будет вестись с замораживанием, то для проектирования крепи необходима постановка развернутых исследований по оценке сжимаемости вскрытой толщи при последующем глубоком водопонижении. Если же ствол проходится с предварительным (до установки основной крепи) водопонижением, то в таких исследованиях обычно нет необходимости. Это показывает, насколько эффективной может оказаться постановка изысканий в тесной связи с предварительными проектными проработками.

Приведем пример из гидротехнического строительства. При сооружении гравитационных плотин на скальном основании поведение основания и его расчетная модель существенно зависят от характера трещиноватости пород. Соответственно, в случае мелкотрещиноватых пород, резко меняющих свою проницаемость под действием веса сооружения, направленность изысканий и расчетная модель должны учитывать возможность возникновения - в основании или в примыканиях - высоких дополнительных эффективных напряжений, обусловленных ростом гидродинамических сил на участках с уменьшенной проницаемостью. Катастрофические последствия действия этих напряжений, не учтенных в расчетной схеме, достаточно детально описывались в литературе [I]. Опытные работы должны в этом случае ориентироваться на выявление зависимости проницаемости от давления и иметь в виду конечной своей целью, в частности, обоснование условий сооружения разгружающего дренажа на участ-

ках, расположенных несколько выше (по течению) зон максимального сжатия. Между тем до сих пор нередки случаи, когда и изыскания, и расчетная модель ориентируются на создание цементационных завес, практически бессмысленных в подобных ситуациях [I2].

В данном примере мы проиллюстрировали значение схематизации, учитывающей условия работы сооружения, для постановки изысканий. С другой стороны, и сама схематизация не может быть эффективной, если она не учитывает эти условия: можно сказать, что схематизация вообще, схематизация геологического объекта как такового в инженерной геологии лишена смысла. И это относится к исследованиям не только локального (собственно инженерного), но и регионального характера. Именно в этом часто заключается слабость многих работ по инженерно-геологическому районированию, особенно при ориентации последнего на так называемые косвенные показатели.

С учетом принципа обратной связи становятся более ясными и принципиальные недостатки статистического подхода: этот принцип требует в общем случае исследования совокупности параметров как случайных функций, а не статистически независимых величин.

Важнейшим аппаратом для реализации принципа обратной связи является анализ чувствительности. В простейшем варианте он сводится к сопоставительной оценке условий работы сооружения при независимых вариациях расчетных параметров.

Например, если, согласно предварительной схематизации, устойчивость сооружения определяется наличием ослабленной зоны, то проводится серия „прикидочных" расчетов по средним значениям параметров этой зоны, найденных к данному моменту изысканий, и их осредненным отклонениям в неблагоприятную сторону. По различиям в результирующих показателях степени устойчивости сооружения оцениваются полнота и качество исходной информации.

Так, благодаря анализу чувствительности расчетной модели выделяются участки, на которых необходимо первоочередное наращивание информации, причем ясно указывается, какие именно расчетные параметры нуждаются в серьезном уточнении, а какие являются малозначащими.

И мы снова возвращаемся к идее самообучения инженерно-геологических изысканий и наблюдений реализация которой имеет решающее значение для их оптимизации. Последнее особенно справедливо для инженерно-геологических наблюдений, когда принцип „двигаясь, - учись" [6] оказывается обязательным условием эффективного инженерного решения. Приведем для примера использование энергии оползневых деформаций для интенсификации вскрышных работ на открытых горных работах на оползневых участках; применение пробных динамических (в частности, взрывных) нагрузок для оценки опасности „разжижения" водонасыщенных песков и для одновременного их уплотнения; проектирование откосов в трещиноватых породах по среднеоптимальным параметрам сопротивления сдвигу с последующим искусственным укреплением неблагоприятных участков, выявленных при вскрытии.

Последний пример характеризует одно из главных достоинств самообучения, проявляющихся в ситуациях, когда проектирование по осредненным параметрам опасно, а по среднеминимальным - расточительно [6]. В основе

самообучения лежит метод „просеивания" гипотез, вырабатываемых в процессе схематизации, заключающийся в следующем: 1) исходя из накопленных к данному моменту сведений о горных породах и принимая во внимание характер работы инженерного сооружения (намечаемого или функционирующего), разрабатывается несколько гипотетических вариантов расчетной инженерно-геологической модели; 2) для каждой гипотезы намечается комплекс изысканий или наблюдений, реализуемый поэтапно[x]; 3) после нового цикла изысканий (наблюдений) оценивается степень правдоподобия гипотез, некоторые из них при этом отвергаются, а комплекс изысканий (наблюдений) для оставшихся или вновь возникших гипотез уточняется. Так постепенно обосновывается наиболее реальная расчетная модель объекта (речь идет, конечно, об объектах, допускающих изменение проекта в процессе строительства).

Последовательная реализация трех рассмотренных здесь принципов схематизации позволяет подойти к проведению изысканий и наблюдений как к элементам единого процесса моделирования инженерно-геологических условий изучаемого объекта. Роль собственно схематизации в этом процессе весьма многогранна: она позволяет увязать разнородную информацию в рамках единой расчетной модели, оценить полноту и качество информации, достоверность модели в целом (точнее - возможность модельного представления объекта на требуемом уровне адекватности).

Такой подход является единственно возможным и для решения важнейшего вопроса оптимизации инженерно-геологических изысканий - обоснования целесообразного объема изысканий. В этом направлении еще предстоит большая работа, которая должна начинаться, очевидно, с постановки имитационного моделирования (численного эксперимента) на априорно заданных типовых объектах.

Эти исследования наиболее эффективно можно провести с помощью ЭВМ: в данном случае численное моделирование эквивалентно по сути дела самостоятельному физическому эксперименту. Имитация всего цикла инженерно-геологических изысканий (наблюдений), строительства и эксплуатации инженерного сооружения на типовых модельных объектах позволит выявить общие закономерности оптимизационного процесса, выработать принципиальный подход и методические приемы для обоснования целесообразных объемов инженерно-геологических изысканий (об эффективности подобного рода исследований свидетельствуют и отдельные публикации в смежных отраслях [5]). Следующим шагом будет переход к реальным объектам, когда решающая роль в исследованиях будет принадлежать инженерно-геологическим наблюдениям.

Постановка ИГН в рамках специальных, научно обоснованных программ по сети соответствующим образом подобранных объектов поможет превратить последние в инженерно-геологические станции. Такие станции, решая конкретные производственные задачи, будут одновременно иметь своей целью накопление и обобщение данных, представляющих широкий научный интерес. Кстати,

---

[x] Естественно, все элементы этого комплекса должны, по возможности, иметь многоцелевое назначение, т.е. способствовать оценке правдоподобия ряда гипотез.

подобная постановка проблемы, несомненно, свяжет более тесными взаимными интересами инженер-геологов научно-исследовательских организаций - с одной стороны и проектно-производственных - с другой. Координация работ на этих станциях - по линии как составления программ наблюдений, так и анализа результатов - должна осуществляться единым межведомственным центром.

Выводы

1. Инженерно-геологическая схематизация, обеспечивая связь между реальной геологической ситуацией и ее механическим описанием, является важнейшим звеном инженерно-геологических исследований; именно при осуществлении схематизации проявляется наиболее полно квалификация специалиста как инженер-геолога.

2. Эффективное проведение схематизации возможно лишь при последовательной реализации принципов непрерывности, адаптации и обратной связи; в соблюдении этих принципов заложено необходимое условие оптимизации инженерно-геологических изысканий и наблюдений.

3. Один из наиболее реальных путей преодоления информационного барьера в инженерной геологии связан с пониманием проводимых изысканий и наблюдений как элементов единого процесса моделирования инженерно-геологических условий изучаемого объекта. Особенно важная роль при этом принадлежит постановке и проведению инженерно-геологических наблюдений как самообучающегося эксперимента.

4. Эффективная реализация рассмотренных принципов инженерно-геологической схематизации замыкается на проблеме компетенции специалистов; в частности, особого внимания заслуживает задача радикального повышения квалификации инженер-геологов в области механики горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джегер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения. М., Мир, 1975.

2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., Недра, 1977.

3. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. М., Недра, 1974.

4. Мюллер Л. Механика скальных массивов. М., Мир, 1971.

5. Оптимизация разведки нефтяных месторождений / Е.Ф.Фролов, Н.Е.Быков, Р.А.Егоров, А.Я.Фурсов. М., Недра, 1976.

6. Пек Р. Преимущества и ограничения обсервационного метода в прикладной механике грунтов. - Проблемы геомеханики, 1971, № 5.

7. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. М., Недра, 1973.

8. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., Недра, 1965.

9. Bjerrum L. et al. Hydraulic fracturing in field permeability testing. - Geotechnique, 22, 1972, N 2.

10. Bo A. Kontrollerad grundvattensänkning för bestämning ai förkonsolideringstrycket i djupa lerlager - Väg-och vattenbyggaren, 1973, N 6.

11. Brady B. Tilt precursors in rock before failure. - Bureau of Mines Report of Investigation, 1975. R I,8101.

12. Londe P. Water scepage in rock slopes. - The Quarterly Journal of Enqineering geelogy. 1973, v.6. N 1.